

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7652299号
(P7652299)

(45)発行日 令和7年3月27日(2025.3.27)

(24)登録日 令和7年3月18日(2025.3.18)

(51)国際特許分類

F I

G O 1 M 7/02 (2006.01) G O 1 M 7/02 Z

G O 1 N 3/32 (2006.01) G O 1 N 3/32 L

G O 1 N 3/32 S

請求項の数 3 (全10頁)

(21)出願番号	特願2023-573837(P2023-573837)	(73)特許権者	000000099
(86)(22)出願日	令和4年9月20日(2022.9.20)		株式会社 I H I
(86)国際出願番号	PCT/JP2022/034877		東京都江東区豊洲三丁目1番1号
(87)国際公開番号	WO2023/135865	(74)代理人	100083806
(87)国際公開日	令和5年7月20日(2023.7.20)		弁理士 三好 秀和
審査請求日	令和6年6月18日(2024.6.18)	(74)代理人	100111235
(31)優先権主張番号	特願2022-4180(P2022-4180)		弁理士 原 裕子
(32)優先日	令和4年1月14日(2022.1.14)	(74)代理人	100170575
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		弁理士 森 太士
		(72)発明者	塩見 謙介
			東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式
			会社 I H I 内
		(72)発明者	大豊 晃祥
			東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式
			会社 I H I 内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 振動試験用治具

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定の方向に延伸する試験体の端部を保持する振動試験用治具であって、
前記試験体の前記端部が載置される載置面を含み、加振テーブルに設置される基台と、
前記試験体の前記端部を前記載置面に向けて押圧する内面をもつスロットを有し、前記
基台上に間隔を置いて載置される天板と、
前記スロットに沿って前記天板に載置される補強部と、
前記スロットに沿って配置され、前記補強部を前記基台に向けて押圧する複数の押圧部
材と
を備え、
前記補強部の厚さは、加振時の前記天板内に生じる変動荷重の大きさに応じて、前記ス
ロットに沿って変化している
振動試験用治具。

【請求項2】

前記補強部は、前記押圧部材毎の補強セグメントに分割されている
請求項1に記載の振動試験用治具。

【請求項3】

各前記押圧部材と前記補強部の間に挟まれる板部材を備え、
前記板部材は前記補強部の剛性よりも低い剛性を有する
請求項1又は2に記載の振動試験用治具。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、航空機用エンジンに使用されるファン動翼などの、所定の方向に延伸する試験体の端部を保持する振動試験用治具に関する。

【背景技術】

【0002】

試験体の疲労特性を評価するための試験の1つとして振動試験がある。振動試験では、一定の応力が発生する振動を当該試験体に与える。一般的に、破断等の損傷に至るまでの回数（即ち、破断繰返し数）が所定値（例えば 10^4 回）以下のときの疲労を低サイクル疲労、この回数が所定値（例えば 10^4 回）を超えるとときの疲労を高サイクル疲労と呼んでいる。応力と破断繰返し数の間の相関を評価するには、長時間に亘って試験体に振動を加える必要があり、試験期間は数日から数週間に及ぶことが多い。

10

【0003】

特許文献1は、振動試験装置の加振テーブルに取り付けられる、動翼の振動試験用治具を開示している。特許文献1の治具は、加振テーブルに固定された基台としての治具本体と、天板とを備えている。動翼は、翼根部が天板の保持溝に位置した状態で、治具本体の載置台に置かれる。更に、複数のボルトが天板を介して治具本体に螺合している。これらのボルトを締めることによって、天板が治具本体に向けて移動し、その結果、翼根部が載置台に押し付けられる。これにより翼根部が治具に保持され、振動試験を遂行することができる。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】国際公開第2020/208925号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1の振動試験用治具では、天板から基台に向けて動翼の翼根部に荷重を掛け、動翼を保持している。この荷重の値は試験体の使用環境に合わせて設定される。例えば特許文献1の試験体は動翼であるため、動翼の翼根部に、遠心力に相当する非常に大きな荷重（例えば20t）を掛けている。従って、治具にもその反力として同程度の大きな荷重が掛かっている。

30

【0006】

試験体を加振している間、治具に掛かる荷重は試験体の振動に合わせて変動する。動翼のように全体的に形状がねじれた試験体の場合、加振時の変動荷重が治具内の位置に応じて変化する。つまり、変動荷重が大きい位置と変動荷重が小さい位置が定常的に現れる。一方、上述の通り、振動試験は数日から数週間に亘って連続的に遂行される。従って、変動荷重が相対的に大きい箇所では塑性変形が生じやすくなる。このような塑性変形等の疲労が部分的に生じた場合、治具による試験体の端部への均一な荷重（押圧）の印加が難しくなり、治具の製品寿命（使用可能期間）を早めることにもなる。

40

【0007】

本開示は上述の事情を鑑みて成されたものであり、試験体の加振時に治具内に生じる過剰な変動荷重を低減することが可能な振動試験用治具の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本開示の一態様に係る振動試験用治具は、所定の方向に延伸する試験体の端部を保持する治具であり、前記試験体の前記端部が載置される載置面を含み、加振テーブルに設置される基台と、前記試験体の前記端部を前記載置面に向けて押圧する内面をもつスロットを有し、前記基台上に間隔を置いて載置される天板と、前記スロットに沿って配置され、前

50

記補強部を前記基台に向けて押圧する複数の押圧部材とを備え、前記補強部の厚さは、加振時の前記天板内に生じる変動荷重の大きさに応じて、前記スロットに沿って変化している。

【０００９】

前記補強部は前記押圧部材毎の補強セグメントに分割されていてもよい。前記治具は、各前記押圧部材と前記補強部の間に挟まれる板部材を備えてもよい。前記板部材は前記補強部の剛性よりも低い剛性を有してもよい。

【発明の効果】

【００１０】

本開示によれば、試験体の加振時に治具内に生じる過剰な変動荷重を低減することが可能な振動試験用治具を提供することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【００１１】

【図１】図１は、本開示の実施形態に係る治具に保持される試験体の一例であるファン動翼の斜視図である。

【図２】図２は、本開示の実施形態に係る治具の正面図である。

【図３】図３は、本開示の実施形態に係る治具の上面図である。

【図４Ａ】図４Ａは、本開示の実施形態に係る補強部が載置される領域においてＸ方向に沿った位置での変動荷重を示すグラフである。

【図４Ｂ】図４Ｂは、図４Ａのグラフに基づいて設定された厚さを有する補強部の側面図である。

20

【図５Ａ】図５Ａは、本開示の実施形態に係る補強部が載置される領域においてＸ方向に沿った位置での変動荷重を示すグラフである。

【図５Ｂ】図５Ｂは、図５Ａのグラフに基づいて設定された厚さを有する補強部の側面図である。

【図６】図６は、本開示の実施形態に係る補強部の変形例の側面図である。

【図７】図７は、本開示の実施形態に係るワッシャの側面図である。

【発明を実施するための形態】

【００１２】

以下、本開示の実施形態に係る治具１０について図面を参照して説明する。図１は、治具１０に保持される試験体の一例であるファン動翼１の斜視図である。図２は、本実施形態に係る治具１０の正面図である。図３は、治具１０の上面図である。説明の便宜上、図３では、図２に示した基台１１と翼根部３の図示を省略している。なお、各図において共通する部分には同一の符号を付し、重複した説明を省略する。

30

【００１３】

説明の便宜上、互いに直交するＸ方向、Ｙ方向及びＺ方向を定義する。Ｘ方向及びＹ方向は、加振テーブル（図示せず）の振動方向を含む平面（仮想面）と平行である。Ｘ方向はスロット１６（図３参照）の延伸方向であり、スロット１６と平行に天板１２の側面１２ｃから側面１２ｄに向かう方向でもある。Ｚ方向はＸ方向及びＹ方向と直交する。後述する各所の厚さは、Ｚ方向に沿った厚さ（長さ）を指すものとする。

40

【００１４】

本実施形態に係る治具１０は振動試験用治具である。治具１０は、振動試験装置の加振テーブル（図示せず）上に取り付けられ、試験体の端部を保持する。試験体の端部は、天板１２によって基台１１に押圧される断面形状を有する。試験体は所謂長尺物であり、Ｘ方向に延伸する端部と、端部からＸ－Ｙ平面と交差する所定の方向（例えばＺ方向）に延伸する本体とを有する。以下、試験体の一例として、ターボファンエンジン（図示せず）等の航空機用エンジンに使用されるファン動翼１を挙げて説明する。

【００１５】

図１に示すように、試験体としてのファン動翼１は、試験体の本体としての翼体２と、試験体の端部としての翼根部３とを備える。翼体２と翼根部３は一体物として形成されて

50

いる。翼体 2 は前縁 2 a と、後縁 2 b と、チップ 2 c と、ハブ 2 d とを有する。翼体 2 は、翼根部 3 からハブ 2 d を介してチップ 2 c まで、スパン方向 S D に延伸している。

【0016】

翼根部 3 は翼体 2 のハブ 2 d に接続すると共に、ファン動翼 1 が取り付けられるロータ（図示せず）の溝部（ダブテール溝）に嵌合するよう、一方向に延伸している。この翼根部 3 の延伸方向は、X 方向と一致していてもよい。

【0017】

翼根部 3 は基台 1 1 の載置面 1 1 a に載置される（図 2 参照）。翼根部 3 は一对の側面 3 a、3 a（図 2 参照）と、底面 3 b（図 2 参照）とを有する。また、翼根部 3 は、上述の溝部（図示せず）の断面形状と相補的な断面形状を有する。即ち、翼根部 3 は、翼体 2 から離れるに連れて Y 方向に広がる幅を含む。一对の側面 3 a、3 a はこの幅を定義する斜面である。底面 3 b は、側面 3 a、3 a の間に位置し、各側面に接続する。翼根部 3 が基台 1 1 の載置面 1 1 a に載置されたとき、底面 3 b は載置面 1 1 a に接触する。

【0018】

図 2 及び図 3 に示すように、治具 1 0 は、基台 1 1 と、天板 1 2 と、補強部 1 3 と、複数の押圧部材 1 4 とを備えている。押圧部材 1 4 は、ねじ部 1 4 a とヘッド部 1 4 b が一体に形成されたボルト 1 5 によって構成される。或いは、押圧部材 1 4 は、スタッドボルトとして形成されたねじ部 1 4 a と当該ねじ部 1 4 a に螺合するナット 1 4 c との組によって構成されてもよい（図 2 参照）。前者の場合はボルト 1 5 を、後者の場合はナット 1 4 c を締めることによって、補強部 1 3 を基台 1 1 に向けて押圧する。以下、説明の便宜上、押圧部材 1 4 の一例としてボルト 1 5 を挙げて説明する。

【0019】

基台 1 1 は所定の厚さを有する平板であり、ステンレス等の剛性が高い金属によって形成されている。基台 1 1 の厚さは、締結時のボルト 1 5 の軸力及び振動時の応力に対して十分な剛性が得られる値に設定されている。基台 1 1 は、振動試験装置の加振テーブル（図示せず）に設置され、所望の加振方向が得られるように向きを調整した状態で、ボルト等の締結部材により固定される。

【0020】

基台 1 1 は翼根部 3 が載置される載置面 1 1 a を含む。載置面 1 1 a は天板 1 2 に面し、例えば、基台 1 1 から天板 1 2 に向けて突出する載置台 1 1 b の上面として形成されている。本実施形態に係る載置台 1 1 b の高さは、天板 1 2 が翼根部 3 を載置面 1 1 a に押し付ける際に、基台 1 1 と天板 1 2 の間の間隙を維持できる値に設定される。

【0021】

天板 1 2 は所定の厚さを有する矩形の平板であり、基台 1 1 上に間隔を置いて載置される。基台 1 1 と同様に、天板 1 2 もステンレス等の剛性が高い金属によって形成されている。天板 1 2 の厚さは、締結時のボルト 1 5 の軸力及び振動時の応力に対して十分な剛性が得られる値に設定されている。なお、天板 1 2 の形状は矩形に限られず、円形等の他の形状でもよい。

【0022】

天板 1 2 は、翼根部 3 の少なくとも一部が収容されるスロット（保持溝）1 6 を有する。スロット 1 6 は、天板 1 2 の上面 1 2 a に開口すると共に、X 方向に延伸している。スロット 1 6 は、天板 1 2 の側面 1 2 c、1 2 d（図 3 参照）の少なくとも一方にも、翼根部 3 の挿入口 1 7 として開口している。図 3 に示す例では、スロット 1 6 は、天板 1 2 の側面 1 2 c、1 2 d のうち的一方から他方まで延伸している。この場合、天板 1 2 の側面 1 2 c、1 2 d のそれぞれに挿入口 1 7 が設けられる。

【0023】

スロット 1 6 は、天板 1 2 の下面 1 2 b にも、載置台 1 1 b の挿入口 1 8 として開口している。この挿入口 1 8 は、スロット 1 6 の内面 1 6 a の一部である底面 1 6 b から天板 1 2 の下面 1 2 b まで貫通している。

【0024】

10

20

30

40

50

スロット 16 は、当該スロット 16 内に位置した翼根部 3 を載置面 11 a に向けて押圧する内面 16 a を有する。即ち、X 方向に直交するスロット 16 の断面は、スロット 16 内に位置する翼根部 3 の側面 3 a、3 a に相当する輪郭を含む。これにより内面 16 a の一部は、翼根部 3 の一対の側面 3 a、3 a と接触する。

【0025】

Z 方向に沿ったスロット 16 の深さは、スロット 16 内に收容される翼根部 3 の部分の Z 方向に沿った長さよりも深い。また、Y 方向に沿ったスロット 16 の底面 16 b の幅は、Y 方向に沿った翼根部 3 の幅よりも広い。これにより、挿入口 17 を介して翼根部 3 をスロット 16 に挿入する際に、翼根部 3 とスロット 16 の内面 16 a のとの間に十分な間隙が形成され、翼根部 3 を容易にスロット 16 に挿入することができる。

10

【0026】

スロット 16 の底面 16 b を含み且つ Y 方向に延伸する部分は、スロット 16 を挟んだ一方側の板部 12 A と他方側の板部 12 B を連結する連結部 19 として機能する。スロット 16 に沿った両側にはボルト 15 が螺合するネジ孔 20（図 2 参照）が形成されている。ネジ孔 20 は所定の間隔を置いて X 方向に並んでいる。

【0027】

補強部 13 は、Y 方向に所定の幅を有し、スロット 16 に沿って（即ち X 方向に）延伸する扁平な板状部材（棒状部材）である。補強部 13 は、スロット 16 に沿った両側のそれぞれに載置される。補強部 13 には、ボルト 15 が挿入される貫通孔 21（図 4 B 参照）が設けられている。貫通孔 21 は所定の間隔を置いて X 方向に並んでいる。この間隔は、X 方向に隣接するネジ孔 20 の間隔に等しい。補強部 13 は、天板 12 よりも剛性の互い金属材料で形成されている。このような材料は例えばクロムモリブデン鋼（SCM）である。

20

【0028】

複数のボルト 15 は補強部 13 上で X 方向に配置され、補強部 13 及び天板 12 を介して基台 11 に螺合する。各ボルト 15 を締めると、天板 12 は基台 11 に向けて移動する。従って、翼根部 3 がスロット 16 内に挿入され且つ載置台 11 b に載置された状態でボルト 15 を締めると、天板 12 が徐々に下降し、スロット 16 の内面 16 a が翼根部 3 の側面 3 a、3 a に接触する。一方、翼根部 3 は載置台 11 b に載置されているために下降できない。従って、更にボルト 15 を締めると、スロット 16 の内面 16 a が翼根部 3 の側面 3 a、3 a を押圧し、翼根部 3 は載置台 11 b の載置面 11 a に押し付けられる。これにより、ファン動翼 1 は治具 10 に保持される。

30

【0029】

各ボルト 15 にはひずみセンサ 22 が埋設されている。ひずみセンサ 22 はボルト 15 内に生じた軸力を計測する。ボルト 15 を締めると、ひずみセンサ 22 が計測する軸力を確認することにより、各ボルト 15 に対して一定の軸力を設定することができる。従って、翼根部 3 及び治具 10 に対して位置的に均一な荷重を掛けることができる。

【0030】

しかしながら、治具 10 に掛かる荷重は、ファン動翼 1 の振動に合わせて周期的に変動する。また、ファン動翼 1 のように、全体の形状が延伸方向の周りでねじれている試験体を加振すると、治具 10 内の位置毎に変動荷重の最大値が変化する。上述の通り、治具 10 において変動荷重が相対的に大きい箇所では塑性変形が生じやすくなる。また、治具 10 による翼根部 3 への均一な荷重の印加が難しくなり、治具 10 の製品寿命（使用可能期間）を早めることにもなる。

40

【0031】

そこで本実施形態では、補強部 13 の厚さは、ファン動翼 1 の加振時の天板 12 内に生じる変動荷重の大きさに応じて、スロット 16 に沿って変化している。即ち、補強部 13 以外の構成による治具 10 によってファン動翼 1 が保持され、加振されたときの、天板 12 に生じる変動荷重の分布を予め算出しておき、算出した分布中のスロット 16 に沿った各位置（例えばボルト 15 の各位置）における変動荷重の大きさに応じて補強部 13 の

50

厚さ t を設定する。従って、補強部 1 3 が載置される領域において変動荷重が大きい箇所ほど、その箇所における補強部 1 3 の厚さも増加する。この変動荷重の大きさの分布は、有限要素法を用いた数値解析などの解析手法によって算出してもよく、ひずみセンサ 2 2 による実測値から算出してもよい。

【0032】

図 4 A～図 5 B は、補強部 1 3 の厚さ t の設定を説明するための図である。図 4 A 及び図 5 A は補強部 1 3 が載置される領域において X 方向に沿った位置での変動荷重の例を示すグラフである。図 4 B は図 4 A のグラフに基づいて設定された厚さを有する補強部 1 3 の側面図である。図 5 B は図 5 A のグラフに基づいて設定された厚さを有する補強部 1 3 の側面図である。

10

【0033】

図 4 A に示すように、或る位置での変動荷重の最大値が、その位置が X 方向に進むに連れて増加する場合、図 4 B に示すように、或る位置での補強部 1 3 の厚さ t も、その位置が X 方向に進むに連れて増加する。天板 1 2 の厚さは、図 4 A に示すように、貫通孔 2 1 の位置毎に段階的に増加してもよく、連続的に増加してもよい。何れの場合も、ボルト 1 5 のヘッド部 1 4 b が接触する部分は、ボルト 1 5 の挿入方向（本実施形態では Z 方向と反対方向）と直交する平面として形成される。

【0034】

図 5 A に示すように、或る位置での変動荷重の最大値が、その位置が X 方向に進むに連れて減少する場合、図 5 B に示すように、或る位置での補強部 1 3 の厚さ t も、その位置が X 方向に進むに連れて減少する。但し、上述の通り、天板 1 2 の厚さは、図 5 A に示すように、貫通孔 2 1 の位置毎に段階的に減少してもよく、連続的に減少してもよい。

20

【0035】

X 方向に沿った変動荷重の最大値の分布は、治具 1 0 に保持されるファン動翼 1（即ち試験体）の形状、寸法、材質、又はファン動翼 1 に対する加振方向などによって変化する。これに合わせて、X 方向に沿った各位置における補強部 1 3 の厚さ t も設定される。従って、X 方向に沿った各位置における補強部 1 3 の厚さ t の変化は、単調増加又は単調減少に限られない。

【0036】

本実施形態によれば、補強部 1 3 を天板 1 2 に載置することにより、変動荷重が大きかった箇所の剛性を高めることができる。従って、試験体の加振時に治具 1 0 内に生じる過剰な変動荷重を低減することができる。その結果、荷重分布の不均一性も緩和され、局所的な塑性変形の進行を抑制でき、試験体の端部への均一な荷重（押圧）を維持することができる。つまり、治具 1 0 の製品寿命（使用可能期間）の短縮化を抑制できる。

30

【0037】

図 6 は、本実施形態に係る補強部 1 3 の変形例の側面図である。この図に示すように、補強部 1 3 は、ボルト 1 5（押圧部材 1 4）毎の補強セグメント 1 3 S に分割されてもよい。この場合、厚さの異なる補強セグメント 1 3 S を用いて、様々な変動荷重の分布に合わせて配置することができる。例えば、試験体の振動モードの変化に合わせた厚さを有する補強部 1 3 を、補強セグメント 1 3 S の配置を変えるだけで構成できる。

40

【0038】

図 7 は、本実施形態に係る板部材 2 3 の側面図である。本実施形態に係る治具 1 0 は、ボルト 1 5（押圧部材 1 4）と補強部 1 3 の間に挟まれる板部材 2 3 を備えてもよい。板部材 2 3 は、ねじ部 1 4 a が挿通される挿通孔 2 4 を有し、例えば環状に形成される。

【0039】

板部材 2 3 の剛性は補強部 1 3 の剛性よりも低く、例えば補強部 1 3 の剛性の $1/2$ 以下である。板部材 2 3 の材質としては、アルミ、マグネシウム等の軽金属、硬質ゴム又は硬質樹脂などが選ばれる。なお、材質の異なる板部材を重ねて用いてもよい。

【0040】

ファン動翼 1 を保持するとき、締めるべきボルト 1 5 を変えながら、所望の軸力が得ら

50

れるまで徐々にボルト 15 を締めていく。このとき、複数のボルト 15 のうちの互いに近接した一群だけが極端に締まること（所謂片締め）を避けるため、一のボルト 15 を締めた後は、当該一のボルト 15 から十分に離れた他のボルト 15 を締める。

【0041】

一方、基台 11、天板 12、補強部 13 及び押圧部材 14 は、荷重による過度な変形を避けるため、ステンレスや SCM などの比較的剛性が高い金属によって形成されている。そのため、ボルト 15 を僅かに締めるだけで、当該ボルト 15 の軸力は急激に増加してしまう。また、極端な軸力上昇により、隣接したボルト 15 の軸力が低下してしまうこともある。即ち、ボルト 15 一回転当たりの軸力増加量が大きいため、適切なボルト締めが難しく、上述した均一な軸力を得るための作業に膨大な時間が掛かってしまう。

10

【0042】

ボルト 15 を締めるとき、板部材 23 は、ボルト 15 のヘッド部 14b と補強部 13 の間に挟まれる。板部材 23 は補強部 13 よりも軟らかいため、板部材 23 を設けない場合と比べて、ボルト 15 一回転当たりの軸力増加量が減少する。つまり、所望の軸力増加量を得るためのボルト 15 の回転角を拡大させることができる。従って、ボルト 15 の軸力調整が容易になり、複数のボルト 15（押圧部材 14）に対して均一な軸力を得るための作業が緩和され、補強部 13 と天板 12 を適切な軸力で基台 11 に取り付けることができる。

【0043】

なお、本開示は上述の実施形態に限定されず、特許請求の範囲の記載によって示され、さらに特許請求の範囲の記載と均等の意味および範囲内でのすべての変更を含む。

20

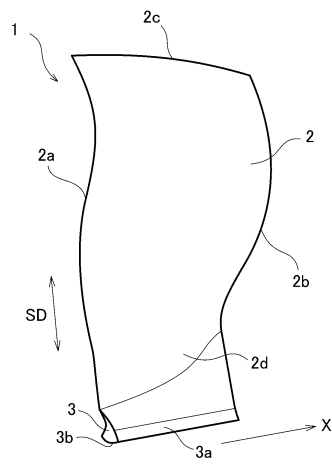
30

40

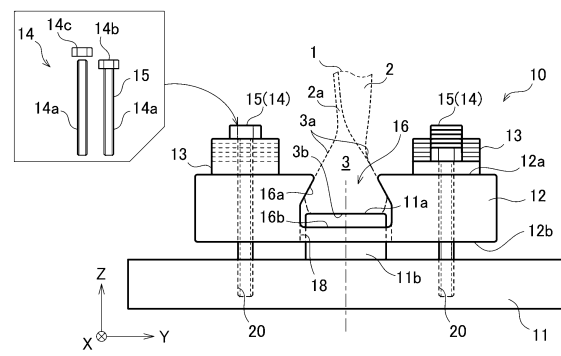
50

【図面】

【図 1】

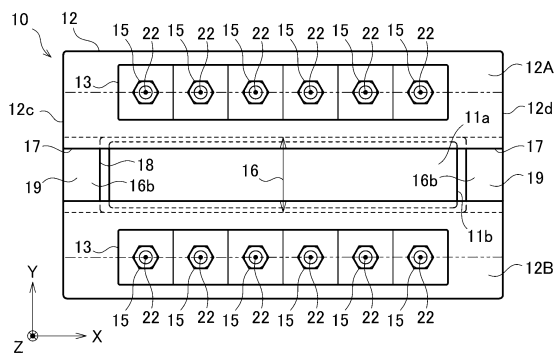


【図 2】

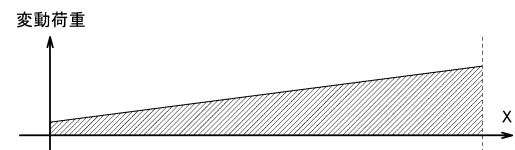


10

【図 3】

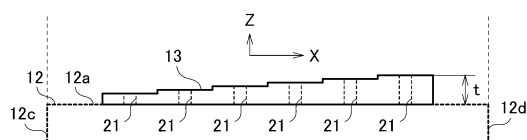


【図 4 A】

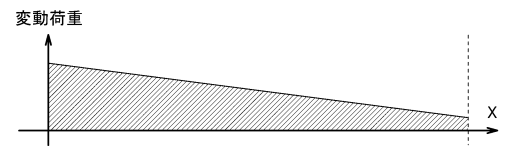


20

【図 4 B】



【図 5 A】

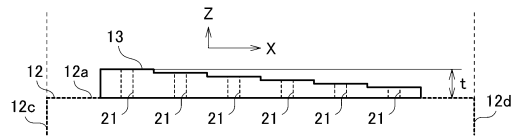


30

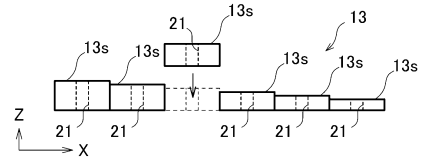
40

50

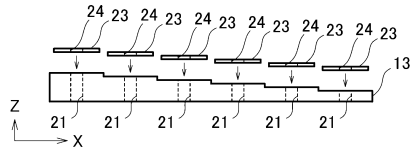
【図 5 B】



【図 6】



【図 7】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 稲田 貴臣

東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式会社IHI内

審査官 山口 剛

(56)参考文献 特開2003-270081(JP, A)

特開2012-137054(JP, A)

中国特許出願公開第109029889(CN, A)

米国特許出願公開第2011/0179877(US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G01M 7/00 - 7/08

G01N 3/00 - 3/62

F01D 25/00 - 25/36

F01D 5/00 - 5/34